

Betriebliche Optimierung des Eisenbahnbetriebs mittels vernetzter Fahrerassistenzsysteme

Vernetzte Fahrerassistenzsysteme können über die Funktionalität bestehender Systeme hinaus nicht nur das Fahrprofil einzelner Züge optimieren, sondern auch den Betrieb in einem Schienennetz insgesamt hinsichtlich Energieverbräuchen oder Streckenkapazitäten verbessern. Anhand von Simulationen wird für zwei betriebliche Szenarien ein erstes Optimierungspotenzial identifiziert.



1. Einleitung

Fahrerassistenzsysteme (FAS) stellen eine kostengünstige Möglichkeit dar, die Fahrweise eines Triebfahrzeugführers durch Empfehlungen auf Grundlage von betrieblichen oder verbrauchsorientierten Überlegungen zu optimieren. Insbesondere unter außerplanmäßigen Betriebsbedingungen können hier Verbesserungen erzielt werden, ohne in den technischen Kern der Fahrzeugsteuerung oder der Sicherungstechnik einzugreifen. Bisherige Systeme funktionieren auf Basis von Fahrplan- und Streckendaten sowie den aktuellen Parametern des überwachten Zugs, wodurch Fahrzeitreserven erkannt und z. B. zur Energieeinsparung genutzt werden können. Dies erlaubt einen Einsatz durch einzelne Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), die direkt von den Energieeinsparungen profitieren, ohne dass eine Vernetzung mit der Leitstelle oder mit Zügen anderer EVU notwendig ist. Hierdurch bleibt allerdings das Potenzial ungenutzt, über das gesamte Betriebsgeschehen Optimierungen durchzuführen, da lediglich auf den im Zug bekannten Zustand des Betriebs reagiert werden kann.

Durch die stetig voran schreitende digitale Vernetzung und den damit verbundenen schnelleren und unmittelbaren Datenaustausch eröffnen sich auch im Bereich der FAS neue Möglichkeiten. Vernetzte Fahrerassistenzsysteme (vFAS) erhalten zusätzlich zu den oben genannten Informationen unter anderem noch Informa-

tionen über die Positionen und Zustände anderer Züge aus der Leitstelle oder über eine direkte Zug-zu-Zug-Kommunikation. So können zusätzlich Empfehlungen auf Basis der aktuellen betrieblichen Situation gegeben werden.

2. Technische Möglichkeiten von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme sind weltweit erfolgreich im realen Bahnbetrieb im Einsatz [1–6]. Während vor einigen Jahren nur minimale Energieeinsparungen erreicht wurden [7], haben aktuelle Metastudien Einsparungen von im Schnitt 8 bis 9 % dokumentiert [8].

Es können aber je nach Anwendungsfall auch Werte von bis zu 15 % erreicht werden. Diese Angaben beziehen sich auf anonymisierte Befragungen von Anwendern. Als Referenzgröße zur Bewertung von FAS wird der direkte Vergleich von Fahrten mit bzw. ohne FAS vorgenommen, wobei der gemessene Verbrauch von den jeweiligen Streckenparametern, betrieblichen Rahmenbedingungen sowie der Erfahrung der Triebfahrzeugführer (Tf) abhängt. [8]

Hierin spiegeln sich technische Fortschritte in der Algorithmik und in den Kommunikationsstrategien zum Tf wider. In der Forschung werden dagegen auch weitergehende Ansätze untersucht, die eine Optimierung einer Zugfahrt nach Kriterien wie der Streckenkapazität oder der Lärmbelastung von Anwohnern ermöglichen [9]. Die Optimierung einzelner Zugfahrten kann



Dr.-Ing. Christian Meirich

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Gruppenleiter Angebotsplanung und Betrieb in der Abteilung Bewertung des Verkehrs
Christian.Meirich@dlr.de



Dipl.-Ing. Leander Flamm

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe Angebotsplanung und Betrieb in der Abteilung Bewertung des Verkehrs
Leander.Flamm@dlr.de



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krimmling

INAVET – Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH, Geschäftsführender Gesellschafter der INAVET GmbH
Juergen.Krimmling@inavet.de



Dr.-Ing. Bärbel Jäger

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Technologiefeldleiterin Bewertung des Verkehrs
Baerbel.Jaeger@dlr.de

wissenschaftlich als erarbeitet angesehen werden. Die Nutzung vernetzter Informationsflüsse zwischen mehreren Fahrzeugen

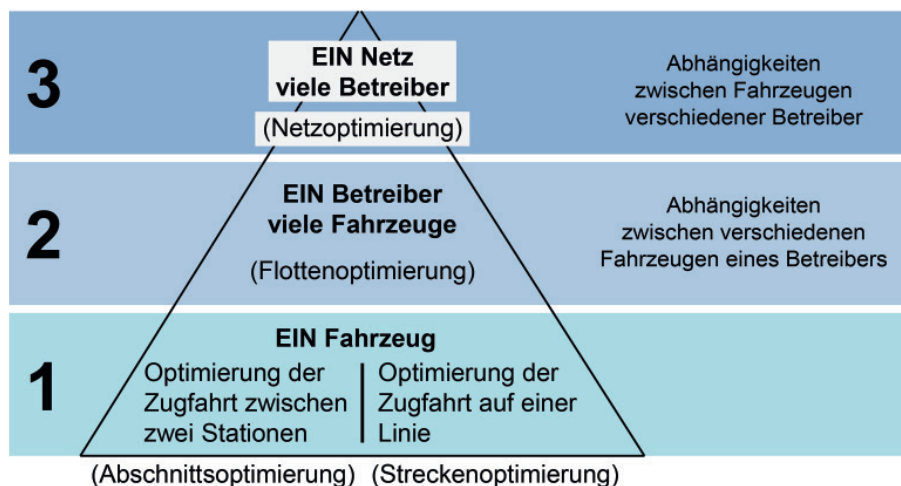
oder Fahrzeugen und Infrastruktur wurde dagegen noch nicht umfassend untersucht.

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung für die verschiedenen Optimierungsstufen bei der Entwicklung von FAS nach [10].

Der derzeitige Stand der Technik hinsichtlich der Datengrundlage bezieht sich auf die Optimierung der Fahrkurve eines einzelnen Fahrzeuges (vgl. Stufe 1) und ist vergleichsweise einfach umzusetzen. Sowohl technisch als auch betrieblich aufwendiger sind jedoch die Ansätze, bei denen die Datengrundlage so zu erweitern ist, dass auch eine Optimierung der Stufen 2 bzw. 3 ermöglicht wird. Dies betrifft sowohl die Ausrüstung anderer Züge oder einer zentralen Leitstelle als auch mögliche Prädiktionsverfahren auf Basis von Big Data-Analysen.

Fahrerassistenzsysteme werden derzeit als zentrale oder als fahrzeugbezogene Systeme eingesetzt. Letztere besitzen den Vorteil, dass permanente Anpassungen der Fahrtrajektorie möglich sind, ohne dass eine Datenübertragung zu einer Zentrale erfolgen muss. Zu den wesentlichen Funktionalitäten gehört neben der Optimierung der Fahrt zwischen zwei Halten auch die Bereitstellung von Abfahrtsempfehlungen. Die Optimierung erfolgt auf Basis wissenschaftlicher Grundlagen vorrangig durch Auslauf- und Tempomatempehlungen. Die Basis der Abfahrtsempfehlungen ist der statische Fahrplan, welcher z.B. durch die Kopplung mit einem rechnergestützten Betriebsleitsystem (RBL) dynamisiert werden kann, um tagesaktuelle Langsamfahrstellen zu berücksichtigen. Elemente der dynamischen Fahrzeitenregelung wie beispielsweise unterschiedliche Strategien zum Aufholen von Verspätungen finden ebenfalls allmählich Anwendung in Fahrerassistenzsystemen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Wirksamkeit der FAS hat die Modellierung der Fahrdynamik der Fahrzeuge, der verschiedenen Bremsmodelle und der fahrdynamischen Widerstände. Ausgeführt werden FAS üblicherweise als Smartphone- oder als Tablet-Lösung (vgl. Bild 2).

Zur Unterstützung der Fahrerassistenzsysteme entwickelt die DB Netz AG die Grünen Funktionen der Zuglaufregelung [1]. Darin werden zunächst kostenpflichtig die Funktionen „Planfahren“ und „Nachfahren“ für genau definierte Streckenabschnitte zur Verfügung gestellt. Vorgesehen sind die Funktionen „Fahrzeit kürzen vor Lang-



1: Betrachtungsstufen für die Optimierung durch FAS [10]

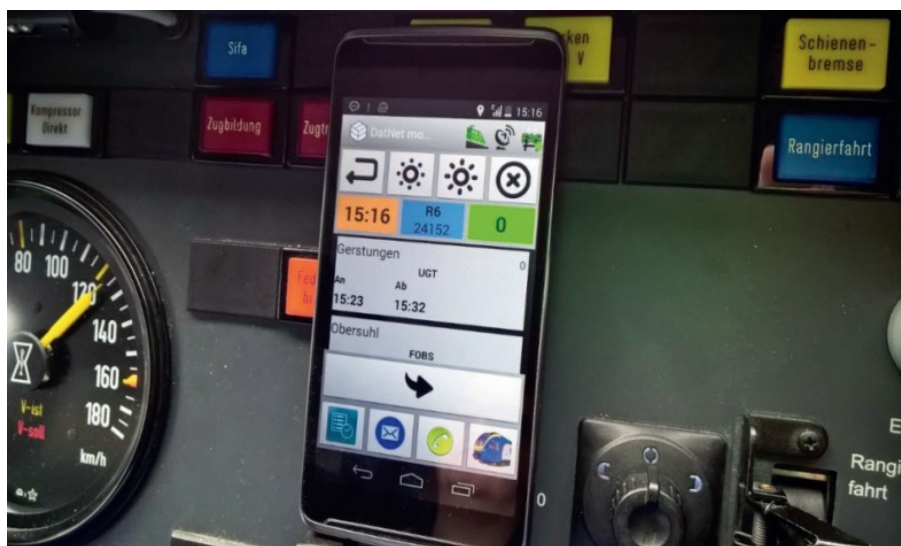
samfahrstellen“ und die Bereitstellung von Durchfahrtsintervallen an bestimmten Streckenpunkten.

Ein nennenswerter Vorteil für die Ausrüstung und Weiterentwicklung von FAS ist die kurzfristige Umsetzbarkeit, welche ein großes Potenzial für die Übergangszeit bis zur flächendeckenden Einführung von ETCS und ersten Anwendungen des automatischen Fahrens bietet. Im Fall einer verzögerungsfreien Umsetzung des ETCS-Rollouts, wie zuletzt von der DB AG beschrieben, ist 2040 von einer Ausrüstung der letzten Betriebsregionen auszugehen [11]. Erst dann können flächendeckend Automatisierungslösungen implementiert werden, die auf ETCS aufbauen. Weiterhin ist für eine Automatisierung bei Bestands-

fahrzeugen ein Eingriff in die Fahrzeugsteuerung und somit eine erneute Zulassung notwendig, was mit entsprechenden Kosten verbunden und je nach Fahrzeugalter nicht sinnvoll ist. Im Gegensatz dazu können FAS unabhängig von der Sicherungstechnik und ohne Veränderung der Fahrzeugsteuerung eingesetzt werden, wodurch resultierende positive Effekte zeitnah genutzt werden können.

3. Betriebliche Anwendungsfälle

In diesem Kapitel sollen exemplarisch die nachfolgenden betrieblichen Anwendungsfälle für den Einsatz von FAS sowie deren Vernetzung aufgezeigt und im Anschluss näher beschrieben werden.



2: Fahrerassistenzsystem bei CANTUS als SmartPhone Anwendung

Über eine neue Datenlage sowie durch den Einsatz von vFAS sollen die folgenden Optimierungsziele erhöht bzw. verbessert werden:

- Energieeinsparungen durch eine angepasste Fahrweise,
- die Pünktlichkeit der Zugfahrten,
- zusätzlich pos. Auswirkungen auf die Streckenkapazität sowie
- die Akzeptanz der Triebfahrzeugführer für die Nutzung

Der betriebliche Anwendungsfall für ein einfaches FAS ohne Vernetzung liegt in der Optimierung der eigenen Fahrtrajektorie. Das Hauptziel ist hierbei die energiesparende Fahrweise (vgl. Kapitel 2) in Abhängigkeit der im Fahrplan vorhandenen Pufferzeiten. Als weitere Möglichkeit ist aber auch der Verspätungsabbau zu nennen. In der Regel steht dieser jedoch im Gegensatz zu einer Energieeinsparung, da hier ein schnelleres Fahren fokussiert wird, um die Verspätung wieder aufzuholen.

Darüber hinaus ist eine Optimierung der Zugtrajektorien nicht nur für einzelne Züge interessant, sondern im Sinne einer verbesserten Kapazitätsnutzung der Strecke auch für das Infrastrukturunternehmen (vgl. Bild 1).

Durch eine Vernetzung der einzelnen FAS können weitere betriebliche Situationen im Eisenbahnbetrieb effizienter gestaltet werden. Diese sind im Folgenden:

- Blockabschnittsräumung
- Folgefahrt bzw. Nachfahren (über einen langen Streckenabschnitt)

- Überholungen
- Zugkreuzung (auf eingleisigen Strecken)
- Fahrstraßenausschluss

Im ersten Fall können betriebliche Echtzeitdaten dazu genutzt werden, die Trajektorie eines einzelnen Zuges weiter zu optimieren, indem zum Beispiel ein Halt aufgrund eines belegten Blockabschnitts vermieden wird. Stattdessen wird über die Vernetzung der FAS und über die bekannten Fahrdaten des vorausfahrenden Zuges der Zeitpunkt für die Fahrtstellung des Signals vorausberechnet und ein Ausrollen eingeleitet, das den Zug ohne Halt zum richtigen Zeitpunkt bis zum Signal bringt, sodass direkt wieder beschleunigt werden kann (vgl. Bild 3).

Wie schon bei der Optimierung einer einzelnen Fahrtrajektorie kann bei dem hier beschriebenen Betrachtungsfall der Blockabschnittsräumung ebenfalls das Geschwindigkeitsprofil des hinteren Zuges auf eine energiesparende Fahrweise oder auf eine Fahrweise zum Verspätungsabbau angepasst werden. Eine untergeordnete, aber dennoch zu berücksichtigende, Rolle spielt die mögliche Kapazitätsmaximierung auf dem zu betrachtenden Streckenabschnitt. Grund hierfür ist der wegfallende Halt am Signal, eine daraus resultierende geringere Fahrzeit im entsprechenden Blockabschnitt sowie eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten auf dem zugehörigen Streckenabschnitt.

Der Ansatz für den Betrachtungsfall der Folgefahrt stellt einen Sonderfall zu der gerade beschriebenen Blockabschnittsräumung dar. Bei einer längeren Folgefahrt

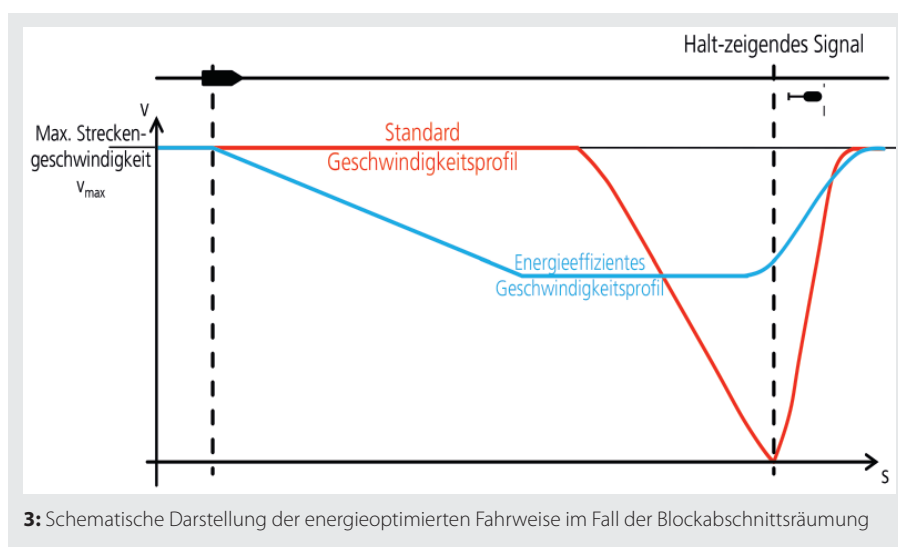
kann im besten Fall eine Harmonisierung der Geschwindigkeiten beider Züge durch vFAS erfolgen. Hierbei kann sowohl die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zuges erhöht werden, als auch die des nachfolgenden verringert werden. Es hängt in beiden Fällen von den zugspezifischen, fahrdynamischen Eigenschaften ab, welche Option präferiert wird. Beispielsweise muss die Geschwindigkeit des nachfolgenden Zuges verringert werden, wenn der vordere Zug keine Geschwindigkeitsreserven aufweist, um schneller zu fahren. Liegen beim vorderen Zug jedoch noch Reserven vor und hat der hintere Zug eine höhere Ladungsmasse, kann es sinnvoller sein, den vorderen Zug zu beschleunigen, damit der schwerere Zug nicht anhalten muss.

Wird der Gedanke der soeben beschriebenen Betrachtungsfälle konsequent zu Ende gedacht, kann es betrieblich sinnvoller sein, einen Reihenfolgetausch der Züge vorzunehmen. Zu dem prognostizierten Zeitpunkt an dem der vorausfahrende Zug in das Überholgleis geleitet wird und die Fahrstraße wieder aufgelöst ist, kann der nachfolgende Zug wieder beschleunigen.

Gerade auf eingleisigen Strecken wird der Anwendungsfall der Zugkreuzungen relevant (vgl. Bild 4). Voraussetzung hierfür sind Überleitstellen bzw. Überholbahnhöfe, welche diese Eingleisigkeit temporär auf eine Zweigleisigkeit ausweiten. Begegnen sich zwei Züge auf einer eingleisigen Strecke, so müssen die Kreuzungen zwangsweise in einem Bahnhof oder einem zweigleisigen Streckenabschnitt stattfinden, damit ein Deadlock vermieden wird.

Als letzter Betrachtungsfall soll das Weichenvorfeld an einem Bahnhof dienen. Da hier über die Sicherungstechnik insbesondere über die Fahrstraßenlogik und die entsprechenden Verschlussregister nur bestimmte Fahrstraßen möglich sind, kann ein vFAS auch hier einen Anreiz vor allem für die Kapazitätsmaximierung bieten. Durch die Vernetzung und die Informationen über die jeweiligen Zugfahrten in einem Bahnhofsvorfeld besteht unter anderem die Möglichkeit einer frühzeitigen Fahrstraßenauflösung. Diese frühzeitige Auflösung muss die jeweiligen Restriktionen aus der Sicherungstechnik (z.B. Flankenschutz) weiterhin berücksichtigen.

Bei allen bisherigen Betrachtungsfällen wurde von einem 2-Zug-Modell ausgegangen. Jedoch bietet der letzte Fall die Möglichkeit, auch ein Mehrzugmodell und ein damit von Niebel in [12] beschriebenes 3-Zug-Modell zu betrachten. So kann das



sogenannte Zacken-Lücken-Problem berücksichtigt werden.

Eine Zusammenfassung der betrieblichen Situation mit den entsprechenden Zielen ist in Tabelle 1 dargestellt.

4. Potenziale

Um abschätzen zu können, ob sich der Aufwand für eine Vernetzung der Fahrerassistenzsysteme untereinander und mit der Infrastruktur betrieblich lohnt, folgt eine erste Analyse der Potenziale. Die Analyse wird hierfür in zwei Schritte gegliedert: Zuerst erfolgt eine qualitative Beschreibung des betrieblich schlechtesten Falls ohne Fahrerassistenz (*worst case*) und des Idealfalls, wenn eine vernetzte Fahrerassistenz größtmöglich optimiert hat (*best case*). Zusammen mit der angenommenen Häufigkeit der in Tabelle 1 beschriebenen betrieblichen Situationen erfolgt eine Vorauswahl der erfolgversprechendsten Szenarien. Diese werden im zweiten Schritt quantitativ in einer Simulation auf ihre Wirkung untersucht. Hierbei wird noch keine dynamische Fahrerassistenz simuliert, sondern es werden jeweils *worst case* und *best case* verglichen.

Die Ergebnisse der durch Expertenbefragungen erfolgten qualitativen Beurteilung sind in Tabelle 2 dargestellt.

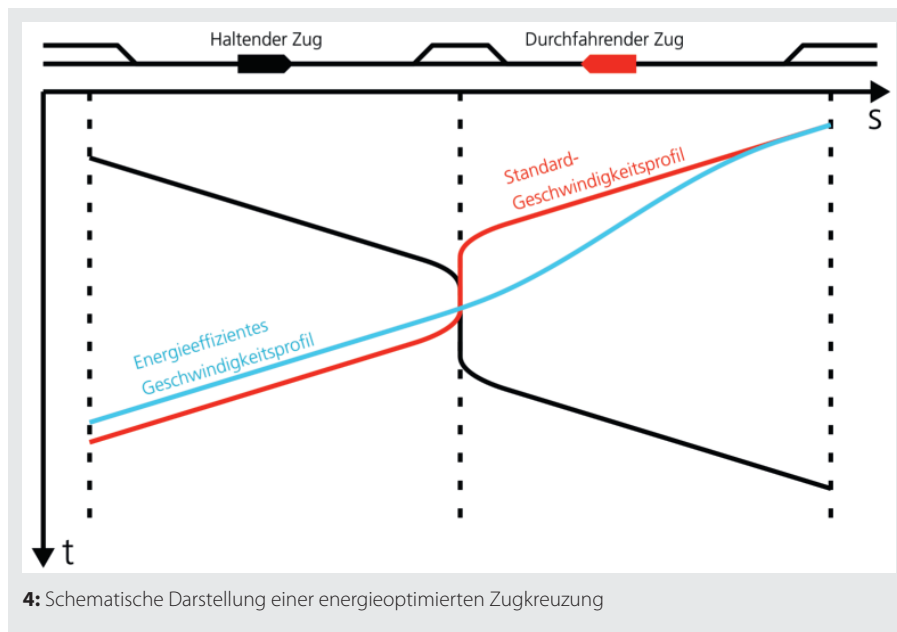
Anhand der qualitativen Potenzialabschätzung wurden die betrieblichen Situationen „Optimierung Fahrtrajektorie“, „Blockabschnittsräumung“ und „Folgefahrt/Nachfahren“ als erfolgversprechend ausgewählt. In diesem Artikel wird nachfolgend ausschließlich die Folgefahrt simuliert, um Potenziale der Vernetzung von FAS zu ermitteln und die Ergebnisse vorgestellt.

Die Berechnungen wurden in einer synchronen Simulation mit einer mikroskopischen Berechnung der Zugdynamik als Masseband auf einer detaillierten, aber generischen Infrastruktur durchgeführt. Um auch leistungssteigernde Effekte analysieren zu können, wurden mehrere Streckenabschnitte um die Konfliktstelle herum betrachtet.

Es wurden zwei Szenarien betrachtet:

- GSS: Zugfolge Güterzug (100 km/h) – S-Bahn (140 km/h) – S-Bahn (140 km/h)
- GGG: Zugfolge Güterzug (80 km/h) – Güterzug (100 km/h) – Güterzug (100 km/h)

Für beide Szenarien wurden Fälle ohne FAS und mit vFAS betrachtet, wobei je-



Betriebliche Situation	FAS	vFAS	Energiesparen	Verspätungsabbau	Kapazitätsmaximierung
Opt. Fahrtrajektorie	X	-	X	(X)	-
Blockabschnittsräumung	-	X	X	X	(X)
Folgefahrt / Nachfahren	-	X	X	-	X
Zugüberholung	-	X	(X)	X	X
Zugkreuzung	-	X	(X)	X	-
Fahrstraßenausschluss	-	X	(X)	(X)	X

„X“ = direkter Einfluss; „(X)“ = indirekter Einfluss; „-“ = kein Einfluss

Tabelle 1: Betriebliche Situationen mit angestrebten Optimierungszielen

Betriebliche Situation	worst case	best case	theor. Potenzial	Häufigkeit
Opt. Fahrtrajektorie	Verspätung / hoher Energieverbrauch	Pünktlich und energieoptimal	mittel	kontinuierlich
Blockabschnittsräumung	Zughalt	Durchfahrt mit verringerter Geschwindigkeit	hoch	oft
Folgefahrt / Nachfahren	Zughalt	Folgefahrt mit angepasster Geschwindigkeit ohne Halt	hoch	mittel
Zugüberholung	Überholter Zug muss anhalten	Fliegende Überholung mit verringerter Geschwindigkeit	mittel	selten
Zugkreuzung	Beide Züge halten	Ein Zug kann ohne Halt durchfahren	mittel	mittel
Fahrstraßenausschluss	Zughalt	Durchfahrt mit verringerter Geschwindigkeit	mittel	mittel

Tabelle 2: Qualitative Beschreibung der im Einsatz von vFAS erwarteten Potenziale

weils sowohl eine Optimierung nach maximaler Streckenkapazität bzw. minimaler Zugfolge und eine Optimierung nach minimalem Energieverbrauch untersucht wurden. Ziel war es, ein wiederholtes Beschleunigen und Abbremsen an den Blocksignalen zu verhindern, das bei nicht assistierter Fahrweise durch die

Geschwindigkeitsdifferenzen entsteht. Ermittelt wurden die realisierten Energieverbräuche (aus Beschleunigungen und Fahrtwiderständen) und Zugfolgezeiten auf einer Strecke von 5 km im eingependelten Zustand (zwischen km 17 und km 22 in Bild 5) für die in Tabelle 3 dargestellten Zugtypen.

Zugtyp	Baureihe	Geschwindigkeit	Länge	Masse	Leistung
S-Bahn	BR 423 (3 mal)	140 km/h	198 m	330 t	7050 kW
Güterzug	BR 185	80 bzw. 100 km/h	428 m	1770 t	5600 kW

Tabelle 3: Zugcharakteristiken für die Simulationsrechnungen

GSS	manuell	vFAS maxKap	vFAS minEne
Energieverbrauch	142,4 kWh	114,9 kWh	9,9 kWh
Zugfolgezeit	116,0 s/107,0 s	116,0 s/103,7 s	126,3 s/126,2 s

GGG	manuell	vFAS maxKap	vFAS minEne
Energieverbrauch	234,2 kWh	229,2 kWh	21,4 kWh
Zugfolgezeit	171,8 s/168,0 s	168,4 s/164,8 s	208,7 s/210,0 s

Tabelle 4: Energieverbräuche und Zugfolgezeiten; Szenario GSS (oben) und GGG (unten)

Die Ergebnisse der Simulation sind in Tabelle 4 dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass bereits bei der Optimierung für eine maximale Kapazität geringe Energieeinsparungen erzielt werden können. Die erreichbaren Kapazitätsgewinne sind allerdings mit ca. 3 s verringerter Zugfolgezeit nur gering. Die Optimierung auf einen minimalen Energieverbrauch führt dagegen zu einer signifikant erhöhten Zugfolgezeit. Dafür lässt sich durch das vFAS ein Auflaufen auf den vorhergehenden Zug vollständig vermeiden. Der Energieverbrauch auf dem betroffenen Streckenabschnitt (5 km) sinkt drastisch, um jeweils ca. 90 %. Eventuelle Gewinne aus einer Rekuperation beim Bremsen wurden hierbei nicht betrachtet, da sich die

diesbezüglichen Möglichkeiten stark zwischen unterschiedlichen Fahrzeugtechnologien unterscheiden.

Es konnte gezeigt werden, dass eine dynamische Reaktion auf den vorausfahrenden Zug entweder einen stabilen Betrieb bei minimaler Zugfolge oder Energieeinsparungen im Bereich von 90 % je Blocksignal bei verringerter Streckenkapazität ermöglicht.

In Bild 5 sind die Zeit-Wege-Linien des Szenarios GSS in den Modi ohne FAS und mit vFAS (energieoptimiert) abgebildet.

5. Fazit und Ausblick

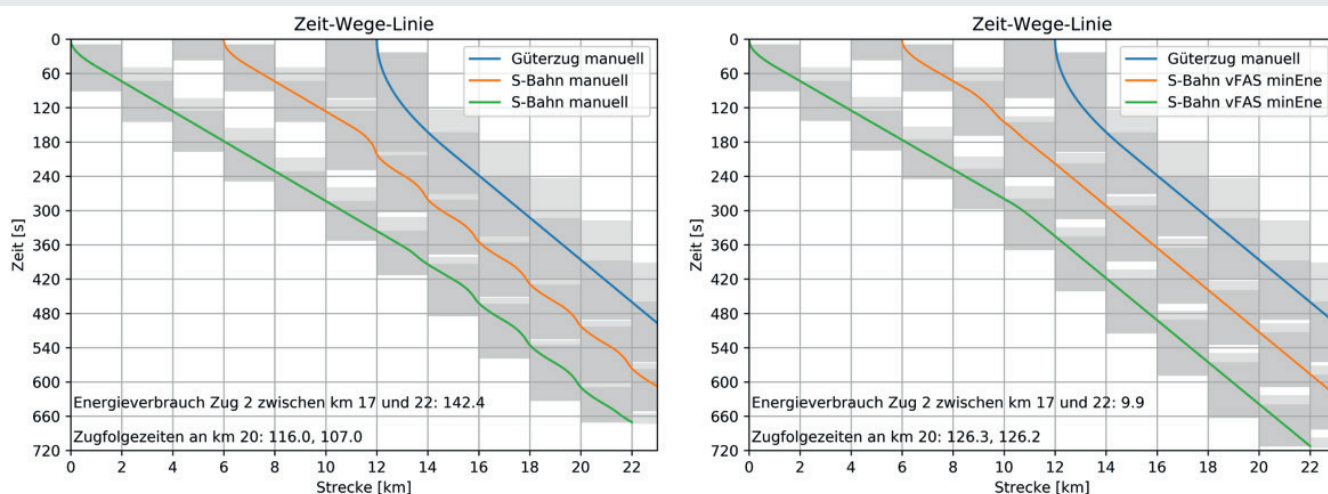
Die zunehmende Digitalisierung der Schiene bietet im Bereich der Fahrerassistenz-

Fahrerassistenzsysteme sind weltweit erfolgreich im realen Bahnbetrieb im Einsatz.

systeme die Möglichkeit, bei der Fahrempfehlung neben einer reinen Optimierung der Fahrtrajektorie eines Fahrzeuges noch weitere Aspekte zu berücksichtigen.

Durch die Nutzung zusätzlicher Daten können potenziell die Betriebsabläufe in komplexen Situationen des Bahnbetriebs vorausschauend optimiert und so Betriebsbehinderungen vermieden werden, was wiederum positive Auswirkung auf die Streckenkapazität hat. Es können sowohl der Energieverbrauch als auch die Lärmemissionen und der Verschleiß durch unnötige Bremsvorgänge verringert werden.

Erste Simulationen haben beispielhaft gezeigt, dass es hier Potenzial gibt und es sinnvoll erscheint, diesen Ansatz weiter zu untersuchen. Beispielsweise müssen Fragen zur Datenverfügbarkeit und -qualität geklärt werden. Um eine weitere Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zu ermöglichen, ist es erforderlich, entsprechende Schnittstellen für die Kommunikation zwischen den einzelnen Zügen mit der Leitstelle und ggf. auch mit der Infrastruktur zu definieren [13]. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Wirksamkeit von vFAS ist die Akzeptanz des Systems durch die Tf.



5: Zeit-Wege-Linien im Szenario GSS im nicht assistierten Fahrmodus (links) und beim Einsatz von vFAS (rechts)

Nur bei einer hohen Befolgsrate der Fahrempfehlungen können die Verbesserungen greifen. Aber auch hier können mehr Informationen über das Betriebsgeschehen dazu beitragen, die Transparenz der Fahrempfehlungen und damit auch die Akzeptanz beim Tf zu erhöhen. •

Förderhinweis

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Programm mFund gefördert. Die vorliegenden Ergebnisse sind im Rahmen des Projektes „FAS-D: Erweiterung von Fahrerassistenzsystemen im Bahnbereich durch die Verbesserung der Datengrundlage“ (45MF00031A) entstanden.

Literatur

- [1] DB NETZ AG: Grüne Funktionen der Zuglauffregulierung – Unterstützung einer energiesparenden Fahrweise durch Echtzeit-Betriebsdaten der DB Netz AG. 2018
- [2] SBB: The swiss way to capacity optimization for Traffic Management – Rail Control System Adaptive Lenkung (RCS ADL). 2018
- [3] BICKELL, David: Thameslink signalling update. 2017
- [4] LAGOS, Mario: Cato offers energy savings, 2015. 2015
- [5] DB KOMMUNIKATIONSTECHNIK GMBH: FASSI-System – Energieeffizienz, Ökologie, Pünktlichkeit. 2014
- [6] KERWIEN, Daniel ; STEINBRINK, Gernot ; REIHER, Patrick ; KRIMMLING, Jürgen: Innovative und energieoptimale Zugsteuerung mit DatNet und smarttrains. In: Der Eisenbahningenieur (EI) (2017)
- [7] SCHUMANN, Tilo: Next Generation Operation: Energieeffizienter Bahnbetrieb Assistenzsysteme für den Triebfahrzeugführer zum energiesparsamen Fahren. 2010
- [8] MRK MANAGEMENT CONSULTANTS GMBH: Marktüberblick Fahrerassistenzsysteme. 2018
- [9] KOOPMANN, Vera ; SCHUMANN, Tilo: Leiser an der Bahnstrecke. In: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Magazin; ISSN 2190-0094 (2016), Nr. 149, S. 46 – 47
- [10] KRIMMLING, Jürgen: Fahrerassistenzsysteme zum energiesparenden Fahren (Vortrag zur mofair Vorstandssitzung). Berlin, 17.01.2018
- [11] MCKINSEY & COMPANY: Machbarkeitsstudie zum Rollout von ETCS/DSTW – Zusammenfassung der Ergebnisse. URL https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/machbarkeitsstudie-digitalisierung-schiene.pdf?__blob=publicationFile
- [12] NIEBEL, NORA: NIEßEN, NILS: Berücksichtigung des Zacken-Lücken-Problems bei der analytischen Kapazitätsermittlung. In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR) (2014), Nr. 12, S. 34 – 37
- [13] ALLIANZ PRO SCHIENE E.V.: Empfehlungen für eine breitere Marktdurchdringung von Fahrerassistenzsystemen im schienengebundenen Verkehr. 2018

Summary

Operational optimization of the railway operation via connected driver assistance systems

Beyond the functionality of existing systems, connected driver assistance systems cannot only optimize the driving profile of individual trains, but also improve operation in a rail network as a whole with regard to energy consumption or capacities. Using simulations, an initial optimization potential is identified for two operational scenarios.

Railfreight.eu

Das Business-Handbuch Güterbahnen

Railfreight.eu ist eine unentbehrliche Hilfe für den täglichen Betrieb und die detaillierte Marktuntersuchung und -beobachtung der Güterbahnen. Es liefert:

- Porträts von **600 aktiven Gütereisenbahnen**
- **Marktübersichten** von Lok- und Waggonvermietern, Bahnspeditionen und Personaldienstleistern
- Marktstudie Europa

Jetzt
vorbestellen
und 10 %
sparen!



NEUERSCHEINUNG

MIT
E-BOOK
INSIDE

Railfreight.eu

1. Auflage Mai 2020,
Hrsg. Karl Arne Richter, Martin Henke,
ca. 750 Seiten, Hardcover,
ISBN 978-3-96245-215-5,
Print mit E-Book Inside € 52,-*
(statt € 58,-* ab 1.6.2020)

www.pmcmedia.com/railfreighteu

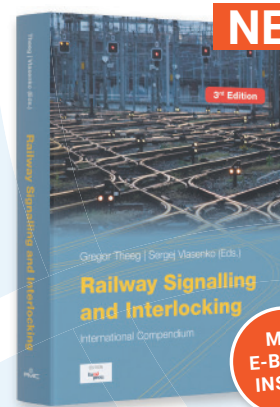
Mehr Infos und Bestellung:
www.pmcmedia.com



NEUERSCHEINUNG

Infrastruktur für eine starke Schiene

Investitionsoffensive für den Erhalt und Ausbau des Schienennetzes,
Print € 39,-*
www.pmcmedia.com/starkeschiene



NEU

MIT
E-BOOK
INSIDE

Railway Signalling and Interlocking – International Compendium

Print mit E-Book Inside € 79,-*
www.pmcmedia.com/signalling

* Preise inkl. MwSt, zzgl. Versand

BESTELLUNGEN:

Tel.: +49 7953 718-9092
Fax: +49 40 228679-503
E-Mail: office@pmcmedia.com
Online: www.pmcmedia.com

PER POST:

PMC Media House GmbH
Kundenservice
D-74590 Blaufelden

PMC Media House GmbH | Werkstättenstr. 18 | D-51379 Leverkusen
Office Hamburg | Frankenstr. 29 | D-20097 Hamburg
Unsere Bücher erhalten Sie auch im gut sortierten Buchhandel.